

KAJIAN KE ARAH MEREALISASIKAN JARINGAN RUJUKAN TEGAK  
GEODETIK BARU DI NEGERI SABAH

ANUAL BIN AZIZ

Tesis ini dikemukakan  
sebagai memenuhi syarat penganugerahan  
ijazah Sarjana Sains (Kejuruteraan Geomatik)

Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi  
Universiti Teknologi Malaysia

JULAI 2005

## **PENGHARGAAN**

Pertamanya penulis merafakkan rasa kesyukuran di atas segala petunjuk dan hidayah yang dikurniakan Allah, Yang Maha Mengetahui sehingga memungkinkan kerja-kerja penyelidikan ini dilaksanakan dengan jayanya.

Penghargaan ini ditujukan kepada pihak Kerajaan Malaysia dan Jabatan Perkhidmatan Awam Malaysia serta pihak pengurusan tertinggi Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia yang telah memberi peluang kepada penulis untuk menimba pengetahuan diperingkat yang lebih tinggi. Segala bantuan dan kerjasama yang telah diberikan akan dijadikan pendorong untuk memberikan perkhidmatan yang lebih cemerlang pada masa akan datang.

Di kesempatan ini juga penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih yang tidak terhingga kepada penyelia projek, Profesor Madya Dr. Shahrul bin Ses di atas segala panduan, bimbingan, nasihat dan dorongan yang telah diberikan di sepanjang tempoh menjalankan penyelidikan ini. Semoga semua pengorbanan masa, ilmu pengetahuan dan lain-lain yang telah beliau sumbangkan akan dikira sebagai amal jariah yang berkekalan.

Penulis tidak akan melupakan segala bentuk sumbangan yang telah diberikan oleh individu lain terutamanya Profesor Dr. Abd. Majid A.Kadir, Profesor Madya Dr. Khairul Anuar Hj. Abdullah, Profesor Madya Kamaluddin Hj. Omar dan lain-lain lagi. Penghargaan ini juga penulis tujukan kepada penyumbang-penyumbang data dan maklumat yang telah digunakan dalam menjalankan penyelidikan ini terutamanya Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (Cawangan Sabah), Jabatan Tanah dan Ukur Sabah, Seksyen Geodesi JUPEM dan Jabatan Perkhidmatan Kajicuaca Malaysia. Akhir sekali terima kasih kepada semua individu yang menyumbang dalam apa bentuk jua bagi menjayakan kajian ini. Sumbangan kalian adalah sangat disanjung dan dihargai.

## ABSTRAK

Kawalan tegak yang kukuh, seragam dan menyeluruh adalah merupakan diantara keperluan asas yang penting bagi pembangunan infrastruktur sesebuah negara. Di Malaysia, kawalan tegak yang baik telah dibangunkan di Semenanjung Malaysia di mana jaringan ukur aras dengan ketinggiannya merujuk kepada Datum Tegak Geodesi Semenanjung Malaysia 1994 (DTGSM94) meliputi hampir keseluruhan wilayah ini. Sementara itu, di Negeri Sabah senario berbeza ujud disebabkan jaringan ukur aras adalah terhad walaupun aktiviti berkaitan kawalan ketinggian ujud semenjak tahun 1910. Faktor utama yang menyumbang kepada senario ini adalah keadaan topografi kawasannya yang menjadi kekangan untuk jaringan ukur aras yang menyeluruh ditubuhkan. Tesis ini membentangkan hasil kajian terhadap sistem kawalan ketinggian di Negeri Sabah meliputi sejarah sistem kawalan ketinggian sedia ada dan keperluan penubuhan sistem kawalan ketinggian yang baru. Sejak awal pembangunan sistem kawalan ketinggian di Negeri Sabah, nilai-nilai ketinggian aras laut min di stesen-stesen tolak pasang surut air laut yang dibangunkan di sepanjang pantai Negeri Sabah telah digunakan bagi memenuhi keperluan datum tegak tempatan. Usaha pengukuran aras yang menghubungkan stesen-stesen tersebut telah dijalankan oleh Jabatan Tanah dan Ukur Sabah (JTUS) dan Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM). Walaupun kerja-kerja ukur aras telah dijalankan berdasarkan kaedah dan tahap ketepatan ukuran aras jitu, tetapi pelarasan dan analisis menyeluruh terhadapnya belum pernah dijalankan. Penulisan ini, selain mendokumenkan aktiviti cerapan pasang surut dan ukuran aras jitu juga membentangkan keputusan pelarasan jaringan aras jitu dan analisis yang dibuat terhadap keputusan pelarasan tersebut. Secara umumnya, hasil kajian mendapati aktiviti-aktiviti yang dilaksanakan oleh pihak JUPEM dalam membangunkan sistem kawalan ketinggian baru di Negeri Sabah telah diurus dengan baik. Analisis terhadap keputusan pelarasan kuasadua terkecil dengan kekangan minima mencadangkan supaya tanda aras TG2018 di STPS Kota Kinabalu dijadikan datum ketinggian bagi Jaringan Rujukan Tegak Geodetik Sabah (JRTGS) yang didefinisikan dalam sistem ketinggian ortometrik Helmert melalui 1,322 tanda aras Jaringan Aras Jitu Sabah (JAJS). Kejituan nilai ketinggian dalam JAJS dinyatakan sebagai  $1.035\text{mm}/\text{K}$ , di mana K adalah jarak laluan aras dalam km dengan sisihan piawai maksima dijangkakan tidak melebihi 2sm bagi keseluruhan jaringan. Keputusan kajian ini menunjukkan pembangunan JRTGS boleh dihasilkan dengan baik dari gabungan data-data cerapan pasang surut air laut, ukuran aras jitu dan graviti. Jaringan kawalan ketinggian yang seragam dan menyeluruh ini akan merealisasikan penubuhan JRTGS yang baru dan selanjutnya menjadi pemangkin kepada pembangunan infrastruktur yang lebih teratur di seluruh Negeri Sabah.

## ABSTRACT

A homogenous, uniform and consistent vertical control system is essential for the infrastructural development of a nation. Peninsular Malaysia has an adequate vertical control based on a well-defined vertical datum known as Peninsular Malaysia Geodesy Vertical Datum 1984 (PMGVD84). However, for the state of Sabah, a different scenario exists. The levelling network is not widespread even though the activities concerning heighting control were started as early as 1910. The nature of the topography is the major factor that contributes to this scenario. This thesis presents the results of a research concerning the height control system in Sabah. It also includes the history of existing height control system and the need to establish a new network. Ever since the development of the height control system, mean sea level values as derived from tidal observations at tide gauge stations along Sabah coast are utilised to fulfil the requirement for a local height datum. Levelling operation to connect all tide gauges was carried out by Sabah Land and Survey Department (LSD) and Department of Survey and Mapping Malaysia (JUPEM). Although the method and the level of accuracy of the levelling operation conformed to the first order levelling procedure, no single adjustment and analyses were done. Due to this reason, this research has not only documents the tidal observation and levelling survey activities in Sabah, but has also presents the result of the levelling network adjustment and their analyses. Research shows that the activities carried out by JUPEM in developing the new height control system were well managed and planned. Results from the minimally constraint least square adjustment suggested that Kota Kinabalu tide gauge bench mark, TG2018 is the most suitable height datum for Sabah Geodetic Vertical Reference Network (SGVRN) as defined in Helmert orthometric height system by 1,322 bench mark of Sabah Precise Levelling Network (SPLN). The overall accuracy of any height value in SPLN is given by  $1.035\text{mm}/\sqrt{K}$ , where  $K$  is levelling route distance in kilometre with the maximum estimated standard deviation less than 2cm across the levelling network. Results of the study also suggest that the development of height control network can be successfully derived from tidal observation, precise levelling and gravity data. This homogeneous and comprehensive height control network will lead to an establishment of a new SGVRN that will consequently act as a catalyst to the well planned infrastructural development in Sabah.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>JUDUL</b>	i
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b>ABSTRACT</b>	vi
	<b>KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xii
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xvi
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xxi
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xxii
<b>1</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Motivasi Penyelidikan	3
	1.3 Ringkasan Sejarah Kawalan Tegak di Malaysia	4
	1.4 Kajian Literasi	6
	1.5 Objektif dan Sumbangan Penyelidikan	8
	1.6 Skop Penyelidikan	10
	1.7 Organisasi Tesis	10

<b>2</b>	<b>ASPEK-ASPEK SISTEM KETINGGIAN DAN UKUR ARAS JITU</b>	
2.1	Pendahuluan	12
2.2	Konsep Ketinggian	12
2.2.1	Permukaan Samaupaya	14
2.2.2	Jenis-Jenis Ketinggian	15
2.2.2.1	Ketinggian <i>Geopotential</i>	15
2.2.2.2	Ketinggian Dinamik	17
2.2.2.3	Ketinggian Ortometrik	18
2.3	Jaringan Kawalan Tegak	21
2.4	Datum	21
2.5	Ukuran Aras Jitu	22
2.5.1	Proses Pengukuran	23
2.5.2	Selisih Dalam Ukur Aras Jitu	26
2.5.2.1	Selisih Kasar	27
2.5.2.2	Selisih Sistematis	28
2.5.2.3	Selisih Rawak	36
<b>3</b>	<b>PEMBANGUNAN SISTEM KAWALAN TEGAK DI NEGERI SABAH</b>	
3.1	Pendahuluan	39
3.2	Latar Belakang Cerapan Pasang Surut Untuk Penentuan Datum Tegak Tempatan	40
3.2.1	Cerapan Pasang Surut Bagi Tempoh 1973 hingga 1985	42
3.2.1.1	Stesen Utama	43
3.2.1.2	Stesen Sekunder	43
3.2.2	Datum Ketinggian Tempatan	44
3.3	Latar Belakang Pembangunan Jaringan Kawalan Tegak Negeri Sabah	46
3.3.1	Jaringan Ketinggian Sabah, Brunei & Sarawak 1952	47

3.3.2	Jaringan Ketinggian Sabah, Brunei & Sarawak 1953	49
3.3.3	Jaringan Penyegitigaan Borneo 1968	52
3.3.4	Jaringan Ukur Aras Sabah 1975	55
3.4	Keperluan Jaringan Kawalan Tegak Baru	56
3.4.1	Jaringan Stesen Tolok Air Pasang Surut	57
3.4.2	Jaringan Ukur Aras Sabah 1996	60
3.4.3	Jaringan Aras Jitu Sabah	62
3.5	Pengukuran Graviti	63
3.5.1	Ukuran Graviti Bawaan Udara ( <i>Airborne Gravity</i> )	65
3.5.2	Pembangunan Model Geoid Tempatan di Negeri Sabah	67
3.6	Kesimpulan	69

#### **4 JARINGAN TOLOK AIR PASANG SURUT KEARAH MEREALISASIKAN DATUM KETINGGIAN BARU**

4.1	Pengenalan	70
4.2	Aras Laut Min Sebagai Datum Ketinggian	71
4.3	Stesen Tolok Air Pasang Surut di Negeri Sabah	73
4.3.1	Pemilihan Tapak dan Pembinaan STAPS	74
4.3.2	Pemasangan Sistem Pengukuran STAPS dan Cerapan Pasang Surut Air Laut	75
4.3.3	Penyelenggaraan STAPS	79
4.4	Prosesan Data dan Analisa	80
4.4.1	Aras Laut Min Harian (ALMH)	83
4.4.2	Aras Laut Min Bulanan (ALMB)	84
4.4.3	Aras Laut Min Tahunan (ALMT)	84
4.4.4	Kecenderungan Aras Laut ( <i>Sea Level Trend</i> )	86
4.4.5	Aras Laut Min dan Datum Rujukan Tegak Tempatan	90
4.5	Kesimpulan	93

<b>5</b>	<b>JARINGAN ARAS JITU SABAH</b>	
5.1	Pendahuluan	95
5.2	Perancangan	97
5.2.1	Penyediaan Maklumat Kerjaluar	97
5.3	Pengukuran Di Lapangan	99
5.3.1	Peninjauan dan Penanaman Tanda Aras	100
5.3.1.1	Jenis-Jenis Tanda Aras	100
5.3.1.2	Sistem Penomboran Tanda Aras	102
5.3.1.3	Rekod Tanda Aras	107
5.3.2	Pengukuran	108
5.3.2.1	Peralatan	109
5.3.2.2	Kalibrasi	109
5.3.2.3	Prosedur Lapangan	110
5.3.2.4	Perekodan Data dan Hitungan	113
	Awalan	
5.4	Penyediaan dan Prosesan Data	113
5.4.1	Penurunan Data	114
5.4.2	Suntingan Data dan Hitungan	116
5.4.3	Pengubahsuaian dan Penukaran Format	119
5.4.4	Pembetulan Ortometrik	120
5.4.4.1	Data Graviti Untuk Hitungan	122
	Pembetulan Ortometrik	
5.4.4.2	Hitungan Pembetulan Ortometrik	123
5.4.5	Penyimpanan Data	126
5.5.	Analisa Statistik Data Aras Jitu	127
5.5.1	Ujian Kenormalan ( <i>Normality Test</i> )	131
5.5.2	Ujian Kerawakan ( <i>Random Test</i> )	139
5.5.3	Taburan Selisih Beza Tinggi Berpiawai	145
5.5.4	Hitungan dan Analisa Tutupan Gelong	149
5.5.5	Kualiti Data Ukur Aras	151
5.6	Kesimpulan	154



<b>6</b>	<b>PELARASAN JARINGAN ARAS JITU</b>	
6.1	Pendahuluan	156
6.2	Perambatan Selisih dan Penentuan Pemberat	157
6.3	Model Pelarasan	159
6.4	Hitungan Pra-Pelarasan	162
6.4.1	Ujian Global	162
6.4.2	Penapisan Data	163
6.4.3	Ukuran Kebolehcayaan	164
6.4.4	Keputusan Hitungan Pra-Pelarasan	164
6.5	Hitungan Pelarasan	169
6.5.1	Keputusan Pelarasan Kekangan Minima	173
6.5.2	Keputusan Pelarasan Berbilang Kekangan	177
6.6	Analisa Keputusan Pelarasan dan Kejituan Jaringan	179
6.6.1	Ujian <i>Chi</i> -Kuasadua Terhadap Faktor Varians	180
6.6.2	Ujian <i>Chi</i> -Kuasadua Terhadap Reja Berpiawai Terlaras	181
6.6.3	Penolakan Reja Terlaras	182
6.6.4	Kejituan Jaringan JAJS	184
6.6.5	Perbandingan Nilai Ketinggian ALM2001 dan JAJS Bagi TATPS	185
6.7	Kesimpulan	187
<b>7</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	
7.1	Pendahuluan	189
7.2	Kesimpulan	190
7.3	Cadangan Kajian Lanjut	194
	<b>RUJUKAN</b>	196
	<b>LAMPIRAN</b>	201

## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
3.1	Lokasi dan tahun cerapan pasang surut air laut di Negeri Sabah dan Labuan di antara tahun 1896-1973.	41
3.2	Lokasi dan tarikh mula operasi stesen-stesen tolok air pasang surut JTUS.	43
3.3	Tempoh cerapan dan nilai ketinggian tanda aras rujukan tolok air pasang surut.	44
3.4	Perbezaan ketinggian hasil penyelesaian kuasadua terkecil dengan aras laut min berasaskan Datum Miri.	48
3.5	Analisa statistik pelarasan kuasadua terkecil bagi setiap sektor dalam Jaringan Ketinggian Sabah, Brunei & Sarawak 1952.	48
3.6	Tikaian tutupan gelong hasil pelarasan kuasadua terkecil.	51
3.7	Pecahan bilangan stesen kawalan yang mempunyai nilai ketinggian berdasarkan darjah ukuran.	53
3.8	Maklumat Stesen Tolok Air Pasang Surut di Negeri Sabah.	58
3.9	Nilai ALM1997 dan ketinggian tanda aras rujukan bagi STAPS di Negeri Sabah.	59

3.10	Perbezaan nilai datum ketinggian yang digunakan oleh JTUS berbanding ALM1997.	60
4.1	Koordinat lokasi STAPS dan data yang diperolehi.	74
4.2	Tempoh data STAPS yang digunakan dan peratusan data tidak diperolehi bagi tempoh berkenaan.	81
4.3	Nilai aras laut min tahunan di atas aras Sifar TAPS.	84
4.4	Hitungan nilai kecenderungan tahunan aras laut min.	87
4.5	Nilai ketinggian Tanda Aras Asalan di atas ALM1997.	92
4.6	Nilai ketinggian Tanda Aras Asalan di atas ALM2001.	92
4.7	Perbezaan nilai ketinggian Tanda Aras Asalan di atas ALM2001 berbanding ALM1997.	93
5.1	Ringkasan sistem penomboran tanda aras yang digunakan oleh JTUS di Negeri Sabah.	103
5.2	Ringkasan sistem penomboran tanda aras yang digunakan oleh JUPEM di Negeri Sabah sebelum tahun 1990.	105
5.3	Ringkasan sistem penomboran bagi tanda aras perantaraan yang digunakan oleh JUPEM di Negeri Sabah selepas tahun 1990.	106
5.4	Hitungan pembetulan ortometrik bagi laluan aras L0309	125
5.5	Senarai seksyen laluan aras yang digunakan berserta tahun ukuran dijalankan.	128

5.6	Ringkasan kriteria data yang digunakan dalam analisa statistik.	130
5.7	Kriteria kumpulan data ukuran aras berdasarkan laluan utama.	131
5.8	Hasil hitungan nilai kecondongan dan kurtosis.	134
5.9	Ringkasan hasil ujian $\chi^2$ bagi selisih beza tinggi berpiawai ukuran aras.	139
5.10	Keputusan ujian larian bagi seksyen laluan aras dalam JAJS.	141
5.11	Keputusan hitungan ujian kecenderungan bagi seksyen laluan aras.	144
5.12	Tikaian tutupan bagi 5 gelong aras dalam JAJS.	150
5.13	Sisihan piawai sekilometer ( $\sigma_{1km}$ ) bagi setiap seksyen laluan aras.	152
6.1	Hasil pra-pelarasan data ukuran aras berdasarkan laluan utama.	164
6.2	Hasil Ujian Global bagi hitungan pra-pelarasan laluan L01	165
6.3	Hasil Ujian Global bagi hitungan pra-pelarasan laluan L03 menggunakan data cerapan pergi dan balik	166
6.4	Hasil Ujian Global bagi hitungan pra-pelarasan laluan L03 menggunakan nilai purata cerapan pergi dan balik	167
6.5	Sebahagian fail format IOB bagi laluan L03 di permulaan dan L06 di akhiran fail data. Bagi bahagian ketiga; lajur pertama ialah jenis data, lajur kedua dan ketiga rujukan tanda aras (dari dan ke), lajur keempat nilai beza tinggi (m), lajur	171

	kelima sisihan piawai dan lajur keenam jarak (km)	
6.6	Maklumat parameter bagi pelarasan jaringan ukur aras jitu secara kekangan minima.	172
6.7	Ketinggian dan sisihan piawai bagi titik asalan di STAPS hasil pelarasan kekangan minima.	173
6.8	Maklumat parameter bagi pelarasan jaringan ukur aras jitu secara berbilang kekangan.	176
6.9	Perbandingan sisihan piawai maksima hasil pelarasan kekangan minima dan berbilang kekangan.	177
6.10	Ringkasan statistik hasil pelarasan kekangan minima di titik asalan STAPS Kota Kinabalu (TG2018)	178
6.11	Senarai reja berpiawai yang melebihi tahap Nilai Reja Kritikal	182
6.12	Beza tinggi nilai ketinggian hasil pelarasan jaringan aras dengan kekangan minima di STAPS Kota Kinabalu berbanding nilai ALM di STAPS lain.	184

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Geoid sebagai permukaan sifar benar dan hubungannya dengan permukaan rujukan ketinggian lain iaitu Aras Laut Min dan Elipsoid.	2
2.1	Perhubungan umum permukaan yang menjadi rujukan ketinggian iaitu Topografi, Geoid dan Elipsoid	13
2.2	Permukaan samaupaya dan hubungannya dengan ketinggian ortometrik	14
2.3	Prinsip asas pengukuran aras	25
2.4	Selisih kolimatan yang berpunca dari ketidaksempurnaan alat aras	31
2.5	Kaedah <i>leap-frog</i> bagi pergerakan staf antara titik pindah.	34
3.1	Cabutan sebahagian pelan No. 9010 yang diterbitkan pada tahun 1939 menunjukkan Asas penentuan datum pasang surut di Kota Kinabalu dan hubungannya dengan ketinggian stesen Trig Pavitt.	45
3.2	Pengesahan pindaan asas datum tegak di Kota Kinabalu kepada Aras Laut Min pada 4.4.1952 (Cabutan sebahagian pelan No. 9010).	46
3.3	Taburan Stesen Penyegitigaan dalam Jaringan Ketinggian Sabah, Brunei & Sarawak 1953	50
3.4	Jaringan Penyegitigaan Borneo 1968 ( <i>BT68</i> )	53

3.5	Taburan stesen-stesen kawalan di Negeri Sabah	54
3.6	Jaringan Ukur Aras Sabah 1975	56
3.7	Taburan geografik stesen tolok air pasang surut yang dibangunkan oleh pihak JUPEM	58
3.8	Taburan ukur aras tertib pertama dan kedua dalam Jaringan Ukur Aras Sabah 1996.	61
3.9	Taburan Jaringan Aras Jitu Sabah sehingga tahun 2002	63
3.10	Taburan Stesen Asas Graviti di Sabah dan Sarawak.	64
3.11	Taburan titik cerapan graviti yang dijalankan oleh JUPEM di Negeri Sabah	65
3.12	Larian dan ketinggian penerbangan ukuran <i>airborne gravity</i> di Sabah dan Sarawak	67
4.1	Hubungan di antara pelbagai nilai ketinggian di STAPS.	73
4.2	Rantai keluli yang dipasang untuk membersihkan lubang <i>inlet</i> pada telaga pasang-surut di STAPS Lahad Datu (a) dan STAPS Kudat (b)	76
4.3	Rekabentuk rumah tolok dan struktur asas STAPS di Negeri Sabah	76
4.4	Hubungan di antara Nilai Tetap (EV), nilai bacaan aras air laut (Z) dan jarak permukaan air laut ke Titik Asas (D).	78
4.5	Lubang <i>inlet</i> bagi STAPS Kota Kinabalu sebelum (gambar a) dan selepas (gambar b) kerja-kerja pembersihan.	80
4.6	Perkakasan yang digunakan oleh JUPEM untuk memindah dan memproses data pasang surut air laut	81
4.7	Kad Antaramuka GPIB dipasangkan kepada komputer pemproses dan dihubungkan dengan <i>Card Reader</i> untuk memindahkan data pasang surut air laut dari kaset <i>IC-Memory</i> .	82

4.8	Carta alir prosesan data mentah cerapan pasang surut air laut di STAPS.	83
4.9	Pelotan pola ALMT bagi lokasi STAPS di Negeri Sabah.	85
4.10	Pelotan kadar kecenderungan aras laut di sepanjang pantai Negeri Sabah.	88
4.11	Pola anomali ALMT dan kadar kecenderungan aras laut di STAPS bahagian pantai barat Negeri Sabah	88
4.12	Pola anomali ALMT dan kadar kecenderungan aras laut di STAPS bahagian pantai timur Negeri Sabah	88
4.13	Anomali tahunan aras laut min semua STAPS di Negeri Sabah bagi tahun 1996 hingga 2000.	90
4.14	Perubahan tinggi Titik Asas berbanding Tanda Aras Asalan di STAPS hasil ukuran aras jitu.	91
5.1	Carta alir pengurusan projek ukur aras jitu dalam Jaringan Aras Jitu Sabah.	96
5.2	Arah ukuran pergi dan balik serta kaedah menyambong kerja ukuran bagi hari yang berlainan.	111
5.3	Sistem kod penomboran tanda aras bagi ukuran aras menggunakan alat aras berdigit Leica NA3000/NA3003.	112
5.4	Carta alir prosesan data mentah ukur aras jitu.	114
5.5	Contoh fail data mentah (*.raw) bagi sebahagian ukuran aras di laluan L0105 dalam seksyen SBM039-SBM002.	115
5.6	Contoh sebahagian fail data (*.dat) di laluan L0105 dalam seksyen SBM039-SBM002.	116
5.7	Contoh sebahagian fail kiraan (*.cal) bagi laluan Langkon-Kudat.	117
5.8	Contoh sebahagian fail jaringan (*.lev) bagi laluan L0105.	119
5.9	Contoh sebahagian fail <b>L0105.lev</b> yang telah diubahsuai menggunakan aturcara BMKod v1.1.	120
5.10	Ketinggian Aras berbanding ketinggian ortometrik.	121



5.11	Korelasi pembetulan ortometrik berbanding ketinggian tanda aras bagi laluan L03.	126
5.12	Korelasi pembetulan ortometrik berbanding beza tinggi sektor aras bagi laluan L03.	126
5.13	Taburan geografi seksyen laluan aras dalam JAJS.	129
5.14	Taburan geografi laluan utama ukuran aras jitu Negeri Sabah.	132
5.15	Hubungan bentuk lengkung taburan data dengan nilai kurtosis.	133
5.16 (a)	Histogram selisih beza tinggi bagi laluan aras L01	135
5.16 (b)	Histogram selisih beza tinggi bagi laluan aras L02	135
5.16 (c)	Histogram selisih beza tinggi bagi laluan aras L03	135
5.16 (d)	Histogram selisih beza tinggi bagi laluan aras L04	136
5.16 (e)	Histogram selisih beza tinggi bagi laluan aras L05	136
5.16 (f)	Histogram selisih beza tinggi bagi laluan aras L06	136
5.17	Kaedah menentukan bilangan larian bagi satu susunan data.	139
5.18	Taburan selisih beza tinggi berpiawai bagi laluan L01.	146
5.19	Taburan selisih beza tinggi berpiawai bagi laluan L02.	146
5.20	Taburan selisih beza tinggi berpiawai bagi laluan L03.	147
5.21	Taburan selisih beza tinggi berpiawai bagi laluan L04.	147
5.22	Taburan selisih beza tinggi berpiawai bagi laluan L05.	147
5.23	Taburan selisih beza tinggi berpiawai bagi laluan L06.	148
5.24	Taburan selisih beza tinggi berpiawai berbanding beza tinggi cerapan sesuatu sektor aras.	148
5.25	Taburan geografi tanda aras dalam seksyen-seksyen laluan aras yang membentuk gelong aras tertutup.	149
5.26	Taburan $\sigma_{1km}$ berbanding jarak seksyen aras.	153
5.27	Taburan $\sigma_{1km}$ berbanding bilangan tanda aras dalam seksyen aras.	153
5.28	Taburan $\sigma_{1km}$ berbanding tahun ukuran aras dijalankan.	154
6.1	Hasil <i>ujian-w</i> bagi penapisan data laluan L01.	165

6.2	Hasil Kebolehcayaan Luaran bagi data ukur aras laluan L01.	166
6.3	Hasil <i>ujian-w</i> bagi penapisan data laluan L03 menggunakan data cerapan pergi dan balik.	167
6.4	Hasil Kebolehcayaan Luaran bagi data ukur aras laluan L03 menggunakan data cerapan pergi dan balik.	168
6.5	Hasil <i>ujian-w</i> bagi penapisan data laluan L03 menggunakan nilai purata cerapan pergi dan balik.	168
6.6	Hasil Kebolehcayaan Luaran bagi data ukur aras laluan L03 menggunakan nilai purata cerapan pergi dan balik.	169
6.7	Kontor Sisihan Piawai hasil pelarasan kekangan minima di STAPS Sandakan (sela kontor 1.0 mm).	174
6.8	Kontor Sisihan Piawai hasil pelarasan kekangan minima di STAPS Kota Kinabalu (sela kontor 1.0 mm).	175
6.9	Kontor Sisihan Piawai hasil pelarasan kekangan minima di STAPS Tawau (sela kontor 1.0 mm).	175
6.10	Kontor Sisihan Piawai hasil pelarasan berbilang kekangan di semua STAPS Sabah (sela kontor 1.0 mm).	177
6.11	Histogram reja berpiawai beza tinggi hasil pelarasan kekangan minima di titik datum STAPS Kota Kinabalu.	181
6.12	Perbezaan nilai ketinggian tanda aras hasil pelarasan KDT dengan kekangan minima di STAPS Kota Kinabalu berbanding pelarasan dengan berbilang kekangan di STAPS lain. Sela kontor adalah 1.0sm.	185

## SENARAI SINGKATAN

ALM	-	<i>Aras Laut Min</i>
ALMB	-	<i>Aras Laut Min Bulanan</i>
ALMT	-	<i>Aras Laut Min Tahunan</i>
BT48	-	Borneo Triangulation 1948
BT68	-	Borneo Triangulation 1968
DCS	-	Directorate of Colonial Survey, United Kingdom
DOS	-	Directorate of Oversea Survey, United Kingdom
DTGSM94	-	<i>Datum Tegak Geodesi Semenanjung Malaysia 1994</i>
EDM	-	Electronic Distance Measurement
EGM96	-	Earth Geopotential Model 1996
GPS	-	Global Positioning System
GRS80	-	Geodetic Reference System 1980
IAG	-	The International Association of Geodesy
IGSN71	-	International Gravity Standardisation Net 1971
JICA	-	Japan International Cooperation Agency
JTUS	-	Jabatan Tanah dan Ukur Sabah
JUAS96	-	<i>Jaringan Ukur Aras Sabah 1996</i>
JUGS97	-	<i>Jaringan Utama Geodetik Sabah 1997</i>
JUPEM	-	Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia
LSD12	-	Land Survey Datum 1912
LSD39	-	Land & Survey Datum 1939
MSL97	-	Mean Sea Level 1997
NAVD88	-	North America Vertical Datum 1988
STAPS	-	<i>Stesen Tolok Air Pasang Surut</i>
UTM	-	<i>Universiti Teknologi Malaysia</i>

## SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Nilai beza tinggi di antara Titik Asas TAPS dengan Tanda Aras TAPS hasil ukuran aras di STAPS Negeri Sabah	201
B1	Senarai Semak Bahan Kerjalar Aras Jitu / Aras Kedua Berdigit	207
B2	Maklumat Tanda Aras	208
B3	Laporan Siasatan Tanda Aras	209
B4	Laporan Kerjalar Ukuran Aras Jitu	210
B5	Borang Harian dan Ringkasan Kerjalar Ukuran Aras Jitu/Kedua	211
B6	Borang Hitungan Aras Sementara/Muktamad	212
B7	Borang Kalibrasi Alat Aras	213
B8	Borang Pertanyaan Kerjalar	215
B9	Surat Permohonan Membina Tanda Ukur dan Menjalankan Ukuran untuk Aktiviti Pemetaan Negeri Sabah dan Wilayah Persekutuan Labuan	216
B10	Surat Kebenaran Membina Tanda Ukur dan Menjalankan Ukuran Untuk Aktiviti Pemetaan Negeri Sabah dan Wilayah Persekutuan Labuan	217
B11	Spesifikasi Tanda Aras Perantaraan	218
B12	Spesifikasi Tanda Aras Utama	219
C1	Contoh <i>Record of Bench Mark JTUS</i>	220
C2	Contoh Jilid Kiraan Ukuran Aras Jitu	221
C3	Contoh Maklumat Tanda Aras Negeri Sabah	222

C4	Contoh Ringkasan Huraian Lokasi Tanda Aras	223
D	Aturcara komputer ini adalah untuk mendefinisikan kod-kod tanda ukur dalam laluan ukur aras jitu bagi fail data .LEV yang telah diproses menggunakan perisian Delta LevNet™ kepada Rujukan sebenar berdasarkan arahan Pekeliling Teknikal PUT Sabah Bil.2/1998 yang berkuatkuasa mulai 31.10.2002	224
E	Hasil ujian- $\chi^2$ bagi selisih beza tinggi berpiawai laluan aras	231
F	Aturcara untuk mengira nilai ujian kecenderungan ( <i>trend-test</i> ) bagi melihat kerawakan data laluan aras	233

# BAB 1

## PENDAHULUAN

*‘ Dan Kami turunkan hujan dari langit dengan sukatan yang tertentu, serta Kami tempatkan dia tersimpan di bumi; dan sesungguhnya Kami sudah tentu berkuasa melenyapkannya.’*

*Al-Qur’an (Al-Mukminun : 18): Terjemahan;*

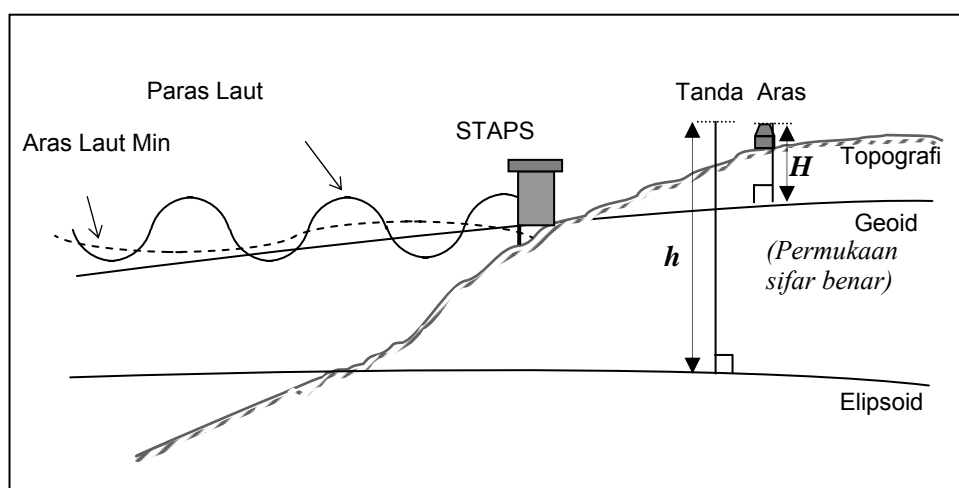
*‘ Dan Kami hantarkan angin sebagai pembawa air dan pemindah benih; maka dengan itu Kami menurunkan air (hujan) dari langit, kemudian Kami berikan kamu meminumnya; dan bukanlah kamu yang (berkuasa menurunkannya atau) menyimpannya.’*

*Al-Qur’an (Al-Hijr : 22): Terjemahan.*

### 1.1 Pengenalan

Kepentingan menentukan sesuatu lokasi dengan tepat menjadi semakin bertambah terutamanya berkaitan dengan penentuan sempadan negara, pembinaan infrastruktur, pelayaran, pemetaan, pertahanan dan sebagainya. Secara tradisinya, lokasi sesuatu titik di permukaan bumi diwakili oleh kodinit geografi dalam bentuk latitud dan longitud yang merujuk kepada titik asalan (*origin*) di permukaan bumi, sementara ketinggian merujuk kepada satu permukaan rujukan. Datum geodetik moden pula, lokasi di permukaan bumi didefinisikan dengan semua komponen merujuk kepada pusat bumi.

Maklumat ketinggian adalah merupakan jarak bagi sesuatu titik di permukaan atau di bawah bumi yang diukur bersudut tepat dengan suatu permukaan rujukan di mana nilai ketinggiannya adalah sifar dikenali sebagai permukaan sifar benar (*true zero surface*) seperti digambarkan di rajah 1.1. Jarak ini sama ada dinyatakan dalam bentuk metrik seperti meter dan seumpamanya ataupun dalam bentuk fizikal seperti nombor *geopotential* (Rudolf, 1996). Sementara datum tegak adalah merujuk kepada suatu permukaan atau titik yang mana jarak sesuatu ketinggian diukur. Terdapat pelbagai datum tegak yang digunakan oleh pelbagai negara, tetapi yang paling popular ialah permukaan geoid yang biasanya direalisasikan dengan menggunakan aras laut min.



**Rajah 1.1** Geoid sebagai permukaan sifar benar dan hubungannya dengan permukaan rujukan ketinggian lain iaitu Aras Laut Min dan Elipsoid.

Kepentingan maklumat ketinggian sesuatu titik, lokasi atau objek dalam hubungannya dengan kehidupan dan peradaban manusia tidak dapat disangkal. Ianya merangkumi semua aktiviti manusia sama ada di daratan, di lautan atau juga di angkasa. Aktiviti di daratan termasuk yang berkaitan dengan perancangan dan pelaksanaan pembangunan infrastruktur, pengukuran dan pemetaan. Aktiviti di lautan terdiri dari pembangunan kejuruteraan di kawasan perairan, penentuan laluan pelayaran yang selamat sementara aktiviti di angkasa pula melibatkan keselamatan penerbangan pesawat serta penentuan ketinggian orbit satelit. Pembangunan infrastruktur sama ada setempat atau meliputi kawasan yang luas memerlukan jaringan kawalan tegak yang jitu dan seragam.

## 1.2 Motivasi Penyelidikan

Aktiviti pengukuran dan cerapan bagi menentukan sistem ketinggian di Negeri Sabah telah bermula seawal tahun 1910. Namun selepas hampir satu abad berlalu, sistem ketinggian yang menyakinkan masih belum ujud sepenuhnya. JUPEM sebagai agensi yang dipertanggungjawabkan untuk menjalankan kerja pemetaan dan pengukuran geodetik di negeri Sabah mulai tahun 1984, telah menggunakan nilai aras laut min di Kota Kinabalu sebagai datum tegak pada tahun 1997. Walau bagaimanapun penggunaan nilai datum ini menimbulkan perbezaan dengan nilai aras yang diterbitkan sebelumnya oleh Jabatan Tanah dan Ukur Sabah (JTUS) (Zakaria, 2001).

Sementara itu, pada 1 Disember 1999 satu seminar berkaitan dengan jaringan aras Negeri Sabah telah diadakan di Kota Kinabalu, Sabah. Seminar ini telah mendedahkan situasi semasa jaringan aras di Negeri Sabah dan keperluan yang mendesak untuk mempertingkatkan bukan sahaja kuantiti jaringan tanda aras tetapi juga kualiti dan keseragaman jaringan tersebut. Bertitik tolak dari desakan di atas, satu kajian menyeluruh dengan menggunakan semua maklumat yang berkaitan dengan ketinggian perlu dijalankan bagi mendapatkan satu sistem ketinggian yang seragam dan menyakinkan. Tambahan pula semua data-data cerapan pasang surut, ukuran aras jitu yang menghubungkan semua STAPS serta maklumat graviti atas sebahagian besar tanda aras telah tersedia.

Motivasi utama kepada penyelidikan ini adalah keperluan untuk mewujudkan satu jaringan kawalan tegak yang bukan sahaja menyeluruh tetapi juga mempunyai kebolehpercayaan yang tinggi di Negeri Sabah. Ini selaras dengan peningkatan keperluan terhadap maklumat ketinggian dari pelbagai masyarakat pengguna di Negeri Sabah seperti yang dinyatakan dalam seminar berkaitan di Kota Kinabalu. Pengukuran jaringan aras jitu dilaksanakan dengan matlamat utamanya untuk mendapatkan nilai ketinggian yang berkejituan tinggi serta menubuhkan satu sistem kawalan tegak yang menyeluruh. Sistem kawalan tegak ini seterusnya akan menjadi rujukan kepada pengguna-pengguna pakar seperti juruukur dan jurutera serta



pengguna lain untuk menerbitkan dan melaraskan nilai-nilai ketinggian yang mereka gunakan dengan penuh keyakinan. Pengetahuan berkaitan ketinggian permukaan bumi adalah sangat penting bukan sahaja bagi tujuan perancangan dan pembangunan tetapi juga bagi pemetaan, kejuruteraan, geodinamik dan lain-lain kajian saintifik.

Peningkatan penggunaan teknologi angkasa lepas, terutamanya GPS, dalam bidang pengukuran dan pemetaan memerlukan satu jaringan yang bukan sahaja tepat dan diyakini tetapi juga serasi dengan teknologi tersebut. Walau pun pihak JUPEM Sabah telah menerbitkan nilai-nilai ketinggian tanda aras hasil ukuran aras jitu, tetapi nilai ketinggian tersebut diperolehi hasil pelarasan secara peringkat demi peringkat di mana nilai ketinggian tanda aras terakhir dalam sesuatu laluan aras digunakan untuk menerbitkan nilai ketinggian tanda-tanda aras bagi laluan aras berikutnya.

Motivasi penyelidikan ini juga didorong oleh faktor ketiadaan kajian yang menyeluruh pernah dibuat bagi jaringan ukuran aras jitu di Negeri Sabah. Ini berbeza dengan senario yang berlaku di Semenanjung Malaysia di mana beberapa penyelidikan telah dijalankan oleh beberapa penyelidik seperti Samad *et. al.*, (1997) dan Shahrum (1997) yang melibatkan analisa pelarasan bagi kawasan tengah dan selatan Semenanjung sementara Azhari (2003) meliputi seluruh Semenanjung Malaysia.

### **1.3 Ringkasan Sejarah Kawalan Tegak di Malaysia**

Aktiviti penubuhan kawalan tegak di Malaysia dijalankan secara berasingan bagi wilayah Semenanjung, Sabah dan Sarawak. Di Semenanjung, datum bagi jaringan aras telah ditubuhkan pada tahun 1912 berasaskan Aras Laut Min di Pelabuhan Kelang, dikenali sebagai *Land Survey Datum 1912 (LSD 1912)* hasil cerapan pasang surut air laut yang dijalankan oleh pihak British Admiralty selama setahun. Pada tahun 1994, Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM) telah menubuhkan Datum Tegak Geodesi Semenanjung Malaysia (DTGSM94) dengan memilih nilai Aras Laut Min di Pelabuhan Kelang sebagai asalan nilai aras. Nilai

Aras Laut Min ini berasaskan kepada cerapan pasang surut air laut selama 10 tahun iaitu mulai tahun 1984 hingga 1993. Ukuran aras telah mula dijalankan sejak tahun 1912 dan siap pada tahun 1967 dengan menempuh berbagai halangan termasuk peperangan dunia kedua. Samad *et. al.*(1999) menyatakan bahawa jaringan aras jitu yang baru sangat perlu bagi mengatasi kelemahan jaringan tahun 1967 yang antara lainnya ialah:

- i ) jaringan yang telah dibentuk lebih dari 45 tahun menimbulkan persoalan dari segi homogenitinya.
- ii ) Kejituan jaringan tidak seragam dan pelarasan yang dibuat tidak homogenos.
- iii ) Hasil ukuran aras dari Tolok Air Pasang Surut yang lain menunjukkan perbezaan sehingga 30 sm di bawah *LSD 1912*.
- iv ) Hasil siasatan JUPEM dalam tahun 1979 mendapati lebih dari 50% tanda aras yang ditanam sama ada hilang atau rosak.

Hasilnya projek jaringan aras jitu baru telah dilancarkan bermula pada tahun 1984 dan siap pada tahun 1999 yang terdiri dari 2089 tanda aras jitu meliputi jarak sejauh 1946 km (Azhari, 2003).

Di Negeri Sarawak, terdapat tiga datum tegak yang digunakan dikenali sebagai Datum Pulau Lakei, Datum Original dan Datum Bintulu. Datum Pulau Lakei adalah berasaskan nilai Aras Laut Min 1955 yang diperolehi daripada cerapan pasang surut air laut yang dijalankan di antara tahun 1950-1951 dan 1955-1956 di Pulau Lakei. Datum Original diperolehi dengan penetapan nilai Aras Laut Min 1935 berasaskan cerapan pasang surut air laut yang direkodkan oleh *Marine Department, Sarawak Oilfields Limited* di Dermaga Marin, Miri bagi beberapa tempoh tertentu diantara tahun 1934 hingga 1935. Sementara Datum Bintulu adalah berasaskan ketinggian jaringan stesen penyegitigaan yang dihubungkan dengan Datum Pulau Lakei dan Datum Original. Tanda Aras BM1 (kemudiannya dikenali sebagai BM 821) yang terdapat di *Marine Mast Signal*, Bintulu dianggap sebagai titik asalan bagi Datum Bintulu (BTU). Abu Husin dan Che Sulaiman (2001) mencatatkan bahawa semakan ketinggian Tanda Aras BM 821 dengan nilai Aras Laut Min yang

diperolehi hasil cerapan pihak *Sarawak Shell* Berhad selama setahun pada tahun 1974 memberikan perbezaan yang kecil iaitu 0.046 m (0.14 kaki) dan dengan itu nilai ketinggian asal BM 821 dikekalkan.

Di Sabah, aktiviti penentuan datum tegak tempatan telah bermula sejak tahun 1910 apabila kapal *H.M.S Merlin* daripada pihak *British Admiralty* menjalankan cerapan pasang surut air laut di Pelabuhan Sandakan dan Tawau bagi membantu aktiviti pelayaran dan menerbitkan ramalan pasang surut air laut bagi pihak berkuasa pelabuhan berkaitan (Anual dan Shahrum, 2002). Selanjutnya sehingga tahun 1967, cerapan pasang surut air laut telah dijalankan di beberapa tempat lain dalam tempoh yang berbeza seperti di Tawau (1925-26 & 1956), Sandakan (1925-26, 1952 & 1962), Kota Kinabalu (1936-39), Sipitang (1949), Lahad Datu (1961) dan Semporna (1961 & 1967) dengan tempoh cerapan di antara sebulan hingga tiga (3) tahun. Selain membantu penerbitan ramalan pasang surut air laut, cerapan ini juga digunakan untuk penetapan Datum Carta (*Chart Datum*) dan penurunan garis asas penyegitigaan kepada aras laut dalam pelarasan jaringan penyegitigaan utama bagi Sabah, Brunei dan Sarawak dalam tahun 1948. Selanjutnya datum bagi kawalan ketinggian yang berkaitan dengan ukuran geodetik dan topografi adalah juga merujuk kepada cerapan pasang surut tersebut seperti Datum Belfry 1918 di Tawau dan *Land & Survey Datum 1939* di Kota Kinabalu yang telah digunapakai sehingga tahun 1997. Selepas tahun 1997, semua jaringan ukur aras yang dijalankan oleh Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM) telah merujuk kepada nilai aras laut min di Stesen Tolok Air Pasang Surut Kota Kinabalu berdasarkan cerapan pasang surut air laut selama 10 tahun (1988 – 1997).

#### **1.4 Kajian Literasi**

Lachapelle *et. al.* (1977) melaporkan hasil kajian terhadap sistem rujukan tegak yang menjadi asas bagi semua ukuran aras yang dijalankan oleh pihak *Geodetic Survey of Canada* dengan mengenalpasti kelemahannya berasaskan

keperluan ketepatan semasa dan membuat cadangan berkaitan dengan pendefinisian semula sistem ketinggian tersebut.

Vanicek (1991) menerangkan apakah datum tegak dan bagaimana untuk merealisasikan. Beliau menjelaskan bahawa geoid, salah satu permukaan aras mendatar yang terbentuk dari medan graviti bumi menjadi pilihan global sebagai datum tegak. Walaupun konsep geoid sebagai datum tegak mudah difahami, tetapi dari segi realitinya sukar untuk direalisasikan. Ini disebabkan geoid tidak wujud secara fizikal dan sesuatu ukuran aras tidak boleh dimulakan dari titik yang berketinggian ortometrik sifar kerana titik ini tidak dapat dipastikan di alam nyata. Sebagai pilihan, secara geometrinya permukaan aras mendatar yang dipilih adalah dianggarkan dan dalam keadaan tertentu adalah permukaan aras laut min.

Shahrudin dan Gilliland (1997) yang mengkaji aras laut min di sepanjang pantai Semenanjung Malaysia mendapati tanpa data-data ALM bulanan bagi tempoh-tempoh di mana pengaruh faktor-faktor meteorologi adalah maksima telah memberikan nilai ALM tahunan yang kurang mantap. Mereka juga mencadangkan supaya pemantauan kestabilan Stesen Tolok Air Pasang Surut (STAPS) dijalankan secara geodetik dengan penggunaan teknologi GPS.

Zilkoski *et. al.* (1992) menjelaskan sejarah penggunaan datum tegak kebangsaan di Amerika Syarikat dan membentangkan beberapa keputusan akhir yang diperolehi dari palarasan terhadap *North America Vertical Datum 88* (NAVD88). Faedah-faedah yang boleh diperolehi dari NAVD88 antara lainnya ialah menghilangkan perbezaan ketinggian akibat penggunaan datum yang tidak konsisten, menghapuskan kesan-kesan selisih sistematik dalam ukuran aras, dan ketinggian ortometrik yang berpadanan dengan ketinggian ortometrik dari GPS dihitung menggunakan model geoid resolusi tinggi, GEOID90.

Hannah (2001) yang menjalankan kajian penilaian sistem ketinggian bagi New Zealand telah menengahkan dua isu utama berkaitan sistem ketinggian New Zealand pada masa depan. Isu pertama adalah berkaitan tahap ketepatan yang perlu

dicapai bagi model geoid kebangsaan. Ini kerana jika model geoid dengan ketepatan tinggi diperlukan misalnya 10sm, maka pelarasan menyeluruh terhadap jaringan aras jitu perlu dilakukan bagi memberikan maklumat terbaik yang mungkin dikehendakki oleh geoid tersebut. Walau bagaimanapun jika model geoid dengan ketepatan yang lebih rendah misalnya 25sm merupakan matlamat yang ditetapkan, sistem ketinggian semasa mungkin memadai. Isu kedua adalah sama ada keputusan pihak berkuasa untuk mengubah sistem ketinggian bergantung kepada permintaan pengguna supaya sistem tersebut digantikan atau sebagai satu percubaan untuk melakukan sesuatu perubahan.

Rueger (1999) telah mencadangkan supaya semua nilai beza tinggi hasil dirisiap yang berlainan di antara dua tanda aras bersebelahan digunakan dalam pelarasan kuasadua terkecil dan bukannya terhad kepada nilai purata dari beza tinggi tersebut. Kaedah ini memberikan ketidaktentuan ketinggian dilaras yang terbaik berbanding tiga kaedah lain yang dikaji kerana ia memodelkan kejituan sebenar ukuran dengan lebih baik berbanding kaedah tradisi. Dengan kaedah ini juga perambatan selisih tidak lagi bergantung hanya kepada jarak laluan ukur aras.

## **1.5 Objektif dan Sumbangan Penyelidikan**

Penyelidikan ini bertujuan untuk mengkaji sejarah dan status sistem ketinggian di Negeri Sabah serta mengenalpasti kaedah untuk membangunkan satu datum tegak dan sistem ketinggian baru yang seragam dan berkeyakinan menggunakan data sedia ada termasuk data cerapan pasang surut air laut, aras jitu dan graviti. Secara terperinci, objektif penyelidikan ini boleh dipecahkan kepada tiga bahagian seperti berikut:

- i ) Mengkaji perkembangan, status dan menganalisa sistem ketinggian sedia ada di Negeri Sabah serta mendokumenkan sejarah pembangunan sistem ketinggian tersebut.

- ii ) Menganalisa prosidur cerapan pasang surut dan pengurusan projek Jaringan Aras Jitu Sabah dalam usaha merealisasikan sistem ketinggian baru di Negeri Sabah.
- iii ) Mencadangkan satu datum tegak yang baru berdasarkan analisis hasil prosesan yang dijalankan terhadap data cerapan pasang surut air laut, ukuran aras jitu dan graviti.

Sumbangan utama kajian ini adalah penerbitan nilai ketinggian yang tepat dan konsisten hasil pelarasan menyeluruh serta merujuk kepada satu titik asalan bagi tanda-tanda aras yang terdapat dalam Jaringan Aras Jitu Sabah (JAJS). Dengan itu, satu datum rujukan ketinggian serta sistem ketinggian yang seragam dan berkeyakinan dapat ditubuhkan di Negeri Sabah. Sebagai tambahan, kajian ini juga akan menyumbang dalam perkara-perkara seperti berikut:

- i) Dokumentasi sejarah pembangunan sistem ketinggian di Negeri Sabah merangkumi aktiviti cerapan pasang surut air laut sejak tahun 1910, penubuhan jaringan penyegitigaan yang berhubungan dengan sistem ketinggian serta penubuhan jaringan ukur aras yang terkini. Pendokumenan ini akan menjadi sumber rujukan penting dalam melihat kelemahan sistem ketinggian sedia ada untuk membantu kajian bagi mengatasi kelemahan tersebut selanjutnya.
- ii) Kajian terhadap penubuhan dan pembangunan rangkaian stesen tolok air pasang surut yang dibina di sepanjang pantai Negeri Sabah membantu mengenalpasti kesesuaian penetapan tanda asalan bagi menjadi datum sistem ketinggian negeri Sabah.
- iii) Pengurusan projek ukuran jaringan aras jitu terbaru di Negeri Sabah di mana penulisan ini menerangkan aktiviti-aktiviti yang terlibat bermula dari peringkat perancangan hingga pelarasan menyeluruh jaringan aras tersebut dalam usaha merealisasikan datum tegak di Negeri Sabah. Dokumen pengurusan projek jaringan ini boleh digunakan bukan sahaja oleh pihak JUPEM malah komuniti juruukur tanah umumnya.

Dengan penubuhan satu datum tegak geodetik baru yang seragam dan berkeyakinan di Negeri Sabah, pembangunan infrastruktur boleh dilaksanakan secara lebih teratur dan saling berkaitan. Ini terutamanya apabila sesuatu pembangunan melibatkan kawasan yang luas atau merentangi laluan yang panjang.

## **1.6 Skop Penyelidikan**

Pencapaian objektif penyelidikan sangat bergantung kepada bagaimana sesuatu penyelidikan itu dijalankan. Bagi maksud tersebut, penyelidikan ini telah difokuskan kepada perkara-perkara yang dinyatakan di bawah:

- i ) Pemerolehan dan pengumpulan bahan-bahan yang mempunyai maklumat berkaitan aktiviti dan sistem ketinggian di Negeri Sabah daripada agensi-agensi seperti JTUS, JUPEM dan Jabatan Arkib Negeri Sabah.
- ii ) Mengkaji dan mendokumenkan sejarah pembangunan sistem ketinggian di Negeri Sabah berasaskan bahan-bahan yang diperolehi tersebut.
- iii ) Pemerolehan dan menganalisa data aras laut Untuk Penetapan Datum Tegak Tempatan.
- iv ) Prosesan dan Pelarasan Jaringan Aras Jitu Menggunakan Data Ukur Aras dan Graviti.

## **1.7 Organisasi Tesis**

Penulisan tesis ini mengandungi tujuh bab yang dibahagikan kepada tiga bahagian penting. Selain dari bab pendahuluan yang berkaitan dengan motivasi penyelidikan, ringkasan sejarah kawalan tegak, objektif, sumbangan dan skop penyelidikan, bahagian pertama mengandungi dua bab lain. Bab 2 menerangkan aspek-aspek asas ketinggian dan ukuran aras jitu sementara Bab 3 menjelaskan tentang sejarah pembangunan sistem kawalan tegak di Negeri Sabah sejak tahun 1910 meliputi aktiviti cerapan pasang surut air laut untuk penentuan datum tegak

tempatan, pembangunan jaringan kawalan tegak serta keperluan menubuhkan jaringan kawalan tegak baru.

Bahagian kedua merupakan dua bab yang menerangkan pembangunan aktiviti-aktiviti utama yang dijalankan dalam usaha merealisasikan datum ketinggian baru di Negeri Sabah. Bab 4 adalah merujuk kepada pembangunan rangkaian stesen tolok air pasang surut di lokasi terpilih sepanjang pantai Negeri Sabah serta analisa terhadap data cerapan dan keputusan prosesan data pasang surut air laut bagi tempoh di antara 6 hingga 15 tahun. Sementara itu, pengurusan projek penubuhan Jaringan Aras Jitu Sabah berserta penyediaan, prosesan dan pelarasan data ukuran aras jitu dijelaskan dalam Bab 5. Dalam bab ini juga analisa statistik terhadap data ukuran aras jitu dibincangkan.

Bahagian akhir penulisan ini terdiri daripada dua bab yang menerangkan hasil dan analisa keputusan pelarasan serta kesimpulan dari kajian ini. Dalam Bab 6 diterangkan secara ringkas pengenalan kepada model pelarasan yang digunakan serta perbincangan terhadap hasil hitungan pra-pelarasan yang dilaksanakan. Selanjutnya diikuti dengan penulisan berkaitan keputusan pelarasan jaringan ukuran aras jitu serta analisis yang dibuat terhadap keputusan tersebut. Penulisan ini diakhiri dengan Bab 7 yang membentangkan kesimpulan yang hasil penemuan-penemuan yang dilihat dalam kajian ini serta diikuti dengan cadangan berkaitan kajian lanjutan yang perlu dijalankan pada masa depan.



## RUJUKAN

- Abu Husin & Che Sulaiman (2001). *Status ukuran aras jitu*. Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (Sarawak), Kuching. Laporan tidak diterbitkan.
- Anual Aziz & Shahrum Ses (2002). *Investigation On The Status of Vertical Control in Sabah*. Kertas kerja di International Symposium on Geoinformation, 22-24 Oktober. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Azhari Mohamed (2003). *An Investigation of the Vertical Control Network of Peninsular Malaysia Using A Combination of Levelling, Gravity, GPS and Tidal Data*. Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Doktor Falsafah (Kejuruteraan Geomatik).
- Barnett, T.P. (1984). The Estimation of “Global” Sea Level Change: A Problem of Uniqueness. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 89 (C5): 7980-7988.
- Berry, R. Moore (1976). History of Geodetic Leveling in the United Stated. *Journal of Surveying and Mapping*. Jun: 137-153.
- Bomford, G. (1980). *Geodesy*. 4<sup>th</sup> Edition. Oxford, Great Britain: Clarendon Press.
- Chang Leng Hua (1998). *Establishment of A GPS Geodetic Network in East Malaysia (Sabah)*. University of Nottingham, United Kingdom: Tesis M. Phil.
- Chrzanowski, A. (1985). *Geodetic Survey Lecture Notes-SE3022*. Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick.
- Clark, W. A. V. & Hosking, P. L. (1986). *Statistical Methods for Geographers*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- DCS (1952). *Trigonometric Heights Sarawak, Brunei and North Borneo*. Directorate of Colonial Surveys Report. Tidak diterbitkan.
- DCS (1953). *Trigonometric Heights Sarawak, Brunei and North Borneo*. Directorate of Colonial Surveys Report. Tidak diterbitkan.
- Ding, X., Zheng, D., Chen, Y., Chao, L. & Li, Z. (2001). Sea Level Change in Hong Kong From Tide Gauge Measurements of 1954-1999. *Journal of Geodesy*. Vol. 74: 683-689.

- DOS (1948). *The Primary Triangulation of Borneo*. Laporan Directorate of Oversea Surveys, United Kingdom. Tidak diterbitkan.
- DOS (1961). ). *Borneo East Coast Triangulation 1961*. Laporan Directorate of Oversea Surveys, United Kingdom. Tidak diterbitkan.
- Douglas, B.C. (1991). Global Sea Level Rise. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 96 (C4): 6981-6992.
- Douglas, B.C. (1996). Global Sea Level Rise: A Redetermination. *GLOSS Bulletin Issue 3*. April.
- Ebong, M.B. (1987). Weights for Least-Squares Adjustments of Levelling Networks. *Survey Review*. Vol. 29 (226): 175 – 180.
- Enman, S.V. & Enman, V.B. (1984). Systematic Errors in Levelings of Mountainous Areas. *Bullettin Geodesique*. Vol. 58: 475 – 493.
- Eriksson, P-O., Lilje, M., Olsson P-A. & Svensson, R. (2002). Validation and Preparation of Data for the Computation of a New Height System in Sweden. *Kertas kerja di FIG XXII International Congress*. 19-26 April. Washington, D.C. Amerika Syarikat.
- Geodelta, Ingenieursbureau (1997). *Delfy for Windows User Manual*. Impression Publisher, Netherlands
- Gerrard, S.M.E., (1990). *The Geoid, GPS and Levelling*. University of Nottingham, United Kingdom: Tesis Doktor Falsafah.
- Gill, Stephen K. & Schultz, John R. (2001). *Tidal Datum and Their Applications*. NOAA Special Publication NOS CO-OPS 1. National Oceanic & Atmospheric Administration, United State of America.
- Hannah, J. (1990). Analysis of Mean Sea Level Data From New Zealand for the Period 1899-1988. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 95 (B8): 12, 399-12, 405.
- Hannah, J. (2001). *An Assessment of New Zealand's Height Systems and Options for A Future Height Datum. A Report Prepared for the Surveyor-General Land Information New Zealand*. Department of Surveying, University of Otago, New Zealand.
- Harvey, B.R. (1994). *Practical Least Squares and Statistics for Surveyors*. Edisi 2. Universiti New South Wales, Australia.
- Heiskanen, W.H. & Moritz, H. (1967). *Physical Geodesy*. San Francisco, Amerika Syarikat: W.H. Freeman.
- Hwang, C. (1997). Height System of Taiwan from Satellite and Terrestrial Data. *Journal of Surveying Engineering*. Vol. 123 (4): 162-180.

- ICSM (1999). *Geodetic datum of Australia, Technical Manual (v2.0)*.  
<http://www.anzlic.org.au/icsm/index.html>
- Jekeli, C. (2000). *Heights, the Geopotential, and Vertical Datums*. Report No. 459 Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, Columbus, Ohio: Ohio State University.
- JTUS (1975). Tide Gauge Stations, Sabah. *Kertas kerja dibentangkan pada mesyuarat Jawatankuasa Pemetaan Negara ke 30 (NMC-30)*. 25 November. Sandakan, Sabah.
- JUPEM (1984). *Peraturan-Peraturan Ukur Aras Jitu*. Tidak diterbitkan.
- JUPEM (2002). *Progress Report on Phase 1: Sabah & Sarawak*. Laporan kemajuan Projek Pengukuran Data Graviti Airborne dan Penentuan Geoid bagi Seluruh Semenanjung Malaysia, Sabah dan Sarawak. Goodwill Synergy Sdn. Bhd., Kuching.
- JUPEM (2003). *Final Report on Airborne Gravity Survey and Geoid Determination Project for Peninsular Malaysia, Sabah and Sarawak*. Goodwill Synergy Sdn. Bhd., Kuching.
- JUPEM Sabah (1998). *Pekeliling Teknikal Pengarah Ukur Topografi Sabah Bil. 2/1998 - Perlaksanaan Ukur Aras Jitu Berdigit*. Tidak diterbitkan.
- Kahmen, H. dan Faig, W. (1988). *Surveying*. Berlin dan New York : Walter de Gruyter.
- Kamaluddin H.Omar (2003). *Pelarasan Ukur I SGU3183*. Monograf. Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia.
- Kamaluddin H.Omar, Abd. Majid A. Kadir & Shahrum Ses (1990). *Projek Penubuhan Jaringan Stesen Kawalan Graviti*. Projek Penyelidikan UPP (Vot 61048). Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi, UTM. Oktober.
- Khairul Anuar Abdullah dan Abdul Wahid Idris (1994). *Geodesi Geometrik*. Monograf. Universiti Teknologi Malaysia: Fakulti Ukur dan Harta Tanah.
- Kuang, Shan-Long (1996). *Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications*. Chelsea, Michigan, USA: Ann Arbor Press Inc.
- Lachapelle, G., Boal, J.D., Frost, N.H. & Young, F.W. (1977). *Recommendations for the Redefinition of the Vertical Reference System in Canada*. Canada Geodetic Survey. Laporan Dalaman.
- Leica, A.G. (1996). *Leica-Digital Levels NA2002/NA3003 User Manual*. Heerbrugg, Switzerland: Leica.

- Mendenhall, W., Scheaffer, R.L., Wackerly, D.D. (1986). *Mathematical Statistics with Applications*. Boston, Amerika Syarikat: Duxbury Press.
- Moritz, H. (1992). Geodetic Reference System 1980. *Bullettin Geodesique*. 66(2): 187-192.
- Mulder, J.E.V. (1981). *Precise Levelling and Precise Level Networks*. Department of Surveying, University of Otago, New Zealand: Disertasi Diploma Sains Lepas Ijazah.
- Othman Zainon (2001). *Merekabentuk Jaringan Optimal Ukur Aras Jitu*. Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Sarjana.
- Pearse, M. (2001). *A Proposal for Vertical Datum Development in New Zealand*. OSG Technical Report 10: Land Information New Zealand.
- Rudolf, J.F. (1996). Leveled Height Differences from Published NAVD 88 Orthometric Heights. *Surveying and Land Information Systems*. Vol. 56, No. 2: ms. 89-102
- Rueger, J.M. (1999). New Method of Recording and Processing Precise Digital Levelling Data. *The Australian Surveyor*. Vol.44 (2): ms. 165-173.
- Samad Abu, Abd. Majid A. Kadir & Shahrum Ses (1997). Preliminary Analysis of Precise Levelling Network for the Southern Peninsular Malaysia. *Buletin Geoinformasi*. Jld.1, No.1, April: ms. 16-29.
- Samad Abu (1998). *Kinabalu 97 : The Measurement To Determine The Highest Peak in Malaysia*. Laporan Dalaman JUPEM.
- Samad Abu (1999). Vertical Datum for Sabah and Sarawak. *Kertas kerja di Seminar Bersama Jaringan Aras Sabah*. 1 Disember. Kota Kinabalu, Sabah.
- Samad Abu, Abd. Majid A. Kadir, Shahrum Ses & Azhari Mohamed (1999). *Orthometric Height Determination for Peninsular Malaysia*. Kertas kerja di Persidangan Pengarah-Pengarah Ukur, 6-7 September. Pulau Pinang, Malaysia.
- Schmidt, M.O. dan Wong, K.W. (1985). *Fundamentals of Surveying*. 3<sup>rd</sup> Edition. Boston, Amerika Syarikat: PWS Publisher.
- Schofield, W. (1993). *Engineering Surveying : Theory and Examination Problems for Students*. 4<sup>th</sup> Edition. Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Shahrum Ses (1997). *The Need and Prospects for A New Height Control of Peninsular Malaysia*. University of South Australia: Tesis Doktor Falsafah.

- Shahrums Ses & Gilliland, J.R. (1997). Investigation of the observed MSL values around Peninsular Malaysia. *Geomatics Research Australasia Journal*, Disember. No. 67: ms. 1-16.
- SPCRE (1969). *Report on the 1968 Adjustment of the Primary Control in East Malaysia and in Brunei*. Penerbitan Directorate of Oversea Surveys, United Kingdom.
- Strang Van Hees, G.L. (1992). Practical formulas for the computation of the orthometric and normal heights. *Zeitschrift für Vermessungswesen*. Vol. 11: ms. 727 - 734
- Torge, W. (1980). *Geodesy, An Introduction*. Walter de Gruyter & Co., Berlin, New York.
- Toyoshima, S. (1995). *Final Report on Tidal Assignments*. Laporan Dalaman JUPEM. Tidak diterbitkan.
- Vanicek, P. (1991). Vertical Datum and NAVD 88. *Surveying and Land Information Systems*. Vol. 51, No. 2: ms. 83-86
- Vanicek, P. & Krakiwsky, E. (1986). *Geodesy: the concepts*, 2<sup>nd</sup> edition. North Holland, Amsterdam.
- Vanicek, P., Castle, R.O., Balazs, E.I., (1980). Geodetic Levelling and Its Applications. *Reviews of Geophysics and Space Physics*. Vol. 18 (2): ms. 505-524.
- Zakaria Saat (2001). *Status Aras Negeri Sabah*. Laporan Dalaman JUPEM Sabah. Tidak diterbitkan.
- Zilkoski, D.B., Richards, J.H. & Young, G.M., (1992). Results of the General Adjustment of the North American Vertical Datum of 1988. *Journal of Surveying and Land Information Systems*. Vol. 52 (3): ms. 133-149.
- Zippelt, K. (1983). *Measurement of level rod's: Temperature and effects on precise levelling*. Dalam: Niemeir, W. (ed.) *Precise Levelling: Contributions to the Workshop on Precise Levelling*. Bonn, Ferd. Dummlers Verlag: ms. 165-177.